

УДК 633.161

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки, сельскохозяйственные науки)

ГЕНОТИП-СРЕДОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ У ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР

Репко Наталья Валентиновна
доктор с.-х. н., Профессор
SPIN-код: 1264-9739
natalja.repko@yandex.ru

Гладких Владислав Константинович
vlad.gladkikh.2001@mail.ru

Донсков Василий Сергеевич
v-donskov@mail.ru

Киселёв Алексей Денисович
alekseykiselev166@gmail.com

Колесников Сергей Александрович
sergej.kolesnikov.30.05.01@mail.ru
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

В статье рассматривается фундаментальная проблема генотип-средовое взаимодействие (ГСВ) в контексте селекции колосовых зерновых культур. Подчеркивается, что эффект ГСВ напрямую влияет на продуктивность и адаптивность сортов в различных почвенно-климатических условиях. Освещены теоретические основы явления, включая норму реакции, адаптивность, пластичность и стабильность генотипов. Приведена методика оценки ГСВ, а также практические примеры исследований на ячмене и пшенице, демонстрирующие значимость учёта взаимодействия для создания высокопродуктивных и устойчивых сортов. Особое внимание уделено роли ГСВ в условиях глобальных климатических изменений и необходимости сохранения локального генетического разнообразия

Ключевые слова: ЯЧМЕНЬ ОЗИМЫЙ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНОТИП-СРЕДОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ, НОРМА РЕАКЦИИ, АДАПТИВНОСТЬ, СТАБИЛЬНОСТЬ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-218-004>

UDC 633.161

4.1.2. Plant Breeding, Seed Production, and Biotechnology (Biological Sciences, Agricultural Sciences)

GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION IN CEREAL CROPS

Repko Natalia Valentinovna
Dr.Sci.Agr., professor
RSCI SPIN-code: 1264-9739
natalja.repko@yandex.ru

Gladkikh Vladislav Konstantinovich
vlad.gladkikh.2001@mail.ru

Donskov Vasily Sergeevich
v-donskov@mail.ru

Kiselev Alexey Denisovich
alekseykiselev166@gmail.com

Kolesnikov Sergey Alexandrovich
sergej.kolesnikov.30.05.01@mail.ru
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

The article discusses the fundamental problem of genotype-environment interaction (GEI) in the context of breeding cereal crops. It emphasizes that the GEI effect directly affects the productivity and adaptability of varieties in various soil and climatic conditions. The theoretical foundations of the phenomenon, including the response norm, adaptability, plasticity, and stability of genotypes, are highlighted. The article provides a methodology for assessing GEI and provides practical examples of research on barley and wheat, demonstrating the importance of considering the interaction for creating highly productive and sustainable varieties. Special attention is given to the role of GEI in the context of global climate change and the need to preserve local genetic diversity

Keywords: WINTER BARLEY, SELECTION, GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION, CEREAL CROPS, REACTION RATE, ADAPTABILITY, AND STABILITY

ГЕНОТИП-СРЕДОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ У ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР

Проблема взаимоотношения наследственной программы организма и условий его реализации является одной из центральных в биологии. В селекции сельскохозяйственных растений, и, в частности, колосовых зерновых культур (пшеница, ячмень, овес, рожь), это взаимодействие находит прямое практическое выражение в феномене взаимодействия генотип-среда (ГСВ). Суть его заключается в неодинаковом реагировании различных генотипов на изменение условий внешней среды. Сорт, проявляющий рекордную урожайность в благоприятных условиях, может оказаться малоэффективным в зоне рискованного земледелия, и наоборот. Следовательно, игнорирование эффектов ГСВ сводит на нет усилия селекционеров, а их учет и изучение – ключ к созданию стабильных и адаптивных сортов.

Основным понятием, описывающим характер реакции генотипа на изменение среды, является норма реакции – пределы модификационной изменчивости, унаследованные от предков. Именно ширина и характер нормы реакции определяют, будет ли сорт пластичным (хорошо отзывающимся на улучшение условий выращивания) или стабильным (сохраняющим относительно постоянную продуктивность в разных климатических условиях).

Как отмечал А.А. Жученко, «адаптивность есть свойство организма и вида в целом, обеспечиваемое нормой реакции, формирующейся в процессе естественного и искусственного отбора, и служащее для регулирования его взаимоотношений с условиями жизни» [1]. Это положение напрямую относится к селекции колосовых культур, где целью является создание генотипов с оптимальной для целевой зоны возделывания нормой реакции.

На проявление хозяйственно-ценных признаков у колосовых культур влияет комплекс абиотических и биотических факторов, которые и формируют эффект взаимодействия. Их можно разделить на климатические факторы (температурный режим, включая заморозки и суховеи; количество и распределение осадков; длина светового дня), эдафические факторы (тип почвы; ее плодородие; влагоемкость; pH; содержание макро- и микроэлементов) и биотические факторы (фитопатогенный комплекс – грибные и бактериальные болезни; вредители; конкурентные отношения в агроценозе).

Различная чувствительность генотипов к каждому из этих факторов и их комбинациям приводит к тому, что ранжирование сортов по урожайности, качеству зерна или устойчивости к болезням может кардинально меняться от года к году и от региона к региону [6]. Для оптимизации использования сортов необходима разработка агроэкологических паспортов, которые отражают не только потенциальную продуктивность, но и устойчивость к ключевым стрессорам, а также специфику адаптивных реакций на регулируемые и нерегулируемые факторы среды. Такой подход позволяет осуществлять адресное размещение сортов и гибридов, учитывающее их адаптивный потенциал и минимизирующее риски в условиях изменчивого климата и неоднородности агроландшафтов. Углублённое изучение и учёт генотип-средового взаимодействия лежит в основе создания устойчивых и продуктивных местных агроэкосистем [2, 7].

Взаимодействие генотипа и среды является фундаментальной основой адаптации растений к меняющимся условиям окружающей среды. Это взаимодействие проявляется через формирование экотипов, жизненных форм и других адаптивных признаков, которые позволяют растениям выживать в различных экологических нишах. Вавиловский закон гомологических рядов наследственной изменчивости подчеркивает, что

сходные признаки могут возникать у разных видов в ответ на сходные средовые условия, что свидетельствует о глубокой взаимосвязи между генетической программой и внешними факторами. Адаптивный потенциал растений реализуется через сложные системы онтогенетической и филогенетической адаптации, включая механизмы устойчивости к абиотическим и биотическим стрессам, что позволяет виду не только выживать, но и эволюционировать в динамичной среде. Эффективная селекция на адаптивность требует комплексного подхода, включающего экологические испытания в разнообразных условиях. Для оценки и управления адаптивностью в селекционной практике используются такие взаимосвязанные параметры, как стабильность, пластичность, гомеостатичность и стрессоустойчивость [4].

Для количественной оценки характера реакции генотипов на изменяющиеся условия среды в селекционной практике широко применяются классические регрессионные методы, среди которых наиболее распространены подходы Финли-Уилкинсона и Эберхарта-Рассела. Оба метода основаны на анализе зависимости урожайности конкретного сорта от среднего индекса условий среды (средней продуктивности всех изучаемых генотипов в данном месте и данное время) [11]. Метод Финли-Уилкинсона фокусируется на оценке общей адаптивности генотипа через коэффициент регрессии: значения $b > 1$ характеризуют высокопластичные, отзывчивые на улучшение условий сорта, тогда как $b < 1$ указывает на генотипы, стабильные в стрессовых условиях [12]. Метод Эберхарта-Рассела развивает этот подход, добавляя параметр стабильности — дисперсию отклонений от регрессии, что позволяет отдельно оценить пластичность и предсказуемость поведения сорта в неоднородной среде. Интегральное использование этих методов способствует объективной классификации генотипов по типу

адаптивности и целенаправленному подбору сортов для конкретных почвенно-климатических зон.

В современной селекции учет генотип-средового взаимодействия становится ключевым элементом для создания адаптивных сортов и гибридов, способных эффективно использовать ресурсы среды и противостоять стрессам. Это особенно важно в условиях глобальных климатических изменений и усиливающейся антропогенной нагрузки. Однако существует риск экспансии транснациональных селекционных компаний, которые продвигают генетически однородные сорта, что может привести к эрозии местного генетического разнообразия и нарушению сложившихся адаптивных систем. Поэтому сохранение и мобилизация локальных генетических ресурсов, сформированных в результате длительного взаимодействия генотипов со специфическими условиями среды, приобретает стратегическое значение для устойчивого развития сельского хозяйства. Интеграция знаний из генетики, экологии, агрономии и физиологии позволяет создавать сорта, оптимально сочетающие высокую продуктивность с устойчивостью к стрессам, что является основой для перехода к адаптивному, ресурсоэкономному и экологически безопасному растениеводству, способному противостоять современным глобальным вызовам [3].

Оценка генотип-средового взаимодействия играет ключевую роль и в системе сортоиспытания. Существующие методы часто страдают низкой пространственной и временной репрезентативностью, что приводит к недооценке экологической устойчивости сортов и гибридов. Важно учитывать, что в благоприятных условиях преимущество получают высокопродуктивные генотипы, тогда как в стрессовых условиях критическое значение приобретает устойчивость. Поэтому эффективное сортоиспытание должно проводиться в широкой эколого-географической

сети, позволяющей выявить как широкую адаптацию, так и специфическую приспособленность к локальным условиям.

Так, в исследовании по оценке генотип-средового взаимодействия и гомеостатичности сортов ячменя в различных почвенно-климатических зонах Тюменской области было установлено, что наибольший вклад в формирование урожайности вносят факторы «год» и «пункт испытания», тогда как доля влияния генотипа незначительна, что свидетельствует о низкой адаптивности изучаемых сортов. Параметры адаптивности, включая изменчивость урожайности, реализацию потенциала и гомеостатичность, существенно варьировали в зависимости от условий зоны, снижаясь от подтайги к южной лесостепи. Было выявлено, что ранги сортов по урожайности не совпадают в разных зонах, что подтверждает наличие генотип-средового взаимодействия и различную норму реакции генотипов. Комплексная оценка позволила выделить лучшие сорта для каждой зоны, подчеркивая важность учета специфики условий при селекции на стабильную продуктивность и адаптивность [7].

Изучение влияния ГСВ позволяет выявить сорта, наиболее устойчивые к стрессовым факторам. Так, в исследовании Л. М. Ерошенко, М. М. Ромахина и др. (2022 г.) дисперсионный анализ сортов ярового ячменя показал, что фактор «среда» обусловил 83,5% вариативности урожайности, в то время как взаимодействие «сорт × среда» составило 12,9%, что подтверждает возможность повышения урожайности через селекцию на адаптивность. Для комплексной оценки ГСВ использовались параметры пластичности (коэффициент вариации C_v , регрессии b_1), стабильности (вариация взаимодействия σ^2_i) и гомеостатичности (Ном, ПУСС, СЦГ). Это позволило выявить сорта с разным типом реакции: высокопластичные (Сударь, Нур, Златояр) сильно отзывались на улучшение условий, а высокостабильные и гомеостатичные (Любойя, Рафаэль) сохраняли урожайность в стрессовых условиях. Интегральный

рейтинг, объединивший показатели продуктивности и адаптивности, выделил сорта Любояр, Надежный, Златояр и Рафаэль как наиболее эффективно использующие биоклиматический потенциал региона, что подчеркивает практическую важность учета ГСВ для создания адаптированных и стабильных сортов [10].

В исследовании Чухиной О. В. (2021) на примере оценки сортов ячменя в условиях Вологодской области продемонстрирован классический подход к количественному анализу генотип-средового взаимодействия через параметры экологической пластичности (b_i) и стабильности (S^2d) по методике Эберхарта-Рассела. Было установлено, что влияние сортов, условий года и их взаимодействия на урожайность является статистически значимым, что подтверждает важность учёта специфической реакции генотипа на изменяющиеся средовые факторы. Большинство изученных сортов показали высокую положительную пластичность (b_i от 1,62 до 4,35), активно увеличивая продуктивность при улучшении условий, в то время как сорт Ленинградский проявил отрицательную пластичность ($b_i = -0,75$), оказавшись неотзывчивым. При этом все сорта характеризовались высокой стабильностью (97–95%), демонстрируя, что в рамках данного региона возможно совмещение как устойчивости к колебаниям среды, так и способности эффективно использовать благоприятные условия. Исследование подчёркивает практическую ценность оценки пластичности и стабильности для объективного отбора сортов, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям [4].

Эффективность селекции напрямую зависит от способности прогнозировать и учитывать влияние изменчивых погодных условий на проявление количественных признаков, таких как урожайность и её структурные компоненты (количество продуктивных стеблей, зёрен в колосе, масса 1000 зёрен). В статье Тихонова В. Е. и Неверова А. А. (2015) представлены методологические основы формирования агроэкотипа

сортов зерновых культур, основанные на глубоком учёте взаимодействия генотипа и среды в условиях степного Приуралья. С использованием методов нейронных сетей и остаточных отклонений была разработана стратегия отбора перспективных сортов на основе селекционных индексов, которые отражают вклад конкретных признаков в прибавку урожая в зависимости от доминирующих факторов среды. Это позволяет целенаправленно формировать набор сортов, максимально адаптированных к специфическим агроэкологическим условиям, и оптимизировать селекционный процесс через прогноз условий будущего вегетационного периода [9].

В статье Новохатина В. В. и соавт. (2019) представлен практический пример успешного применения теории эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП) для управления взаимодействием генотипа и среды (ВГС) в селекции. Авторы, критикуя избыточные ожидания от молекулярных методов, разработали инновационную технологию, основанную на выделении семи генетико-физиологических систем (ГФС), которые вносят вклад в урожайность и чьё проявление напрямую зависит от лимитирующих факторов среды. Последовательно применяя анализ родословных, фенотипирование по ГФС, целенаправленные скрещивания и стабилизирующие пересевы в типичных для зоны условиях, они создали сорт мягкой яровой пшеницы Гренада. Этот сорт, сочетающий высокую продуктивность (прибавка 26–39% к стандарту), устойчивость к абиотическим стрессам и болезням, является результатом направленного совмещения положительных вкладов различных ГФС в одном генотипе, что позволило эффективно использовать синергизм между генотипом и специфическими средовыми условиями Уральского региона [8].

В автореферате диссертации Пономарева Д. А. (2021) представлена системная работа по управлению урожайностью и качеством зерна озимой

пшеницы на основе глубокого анализа и использования генотип-средового взаимодействия. В исследовании, проведенном в Национальном центре зерна им. П.П. Лукьяненко, селекционеры не просто проводят описание изменчивости сортов, а осуществляют активное управление ею для получения заданных параметров урожая. Методологической основой послужила концепция создания «агроэкологических паспортов» сортов, предполагающая выявление признаков с высокой модификационной изменчивостью, на которые можно эффективно влиять агротехническими приемами, и признаков с высокой стабильностью, определяющих генетический потенциал сорта. Автор выявил, что такие признаки, как количество редуцированных колосков в колосе, масса колоса и зерна, а также длина нижних междоузлий, обладают очень высокой средовой изменчивостью. Это позволило, например, предложить оригинальную визуальную шкалу для оценки благоприятности условий произрастания по количеству редуцированных колосков. Одновременно была проведена масштабная оценка экологической пластичности (по методике Эберхарта-Рассела) 39 сортов по урожайности и ее компонентам (кустистость, озерненность колоса, масса 1000 зерен, качество зерна), что позволило классифицировать сорта на высоко- и низкопластичные и определить их «модель» продуктивности (кустящиеся, крупноколосые, промежуточные) [5].

Особое внимание в данном исследовании уделено анализу взаимосвязей между признаками и конечными показателями — урожайностью и содержанием белка в зерне — на фенотипическом, генотипическом и экологическом уровнях. Установлено, что ключевым фактором, наиболее тесно связанным с урожайностью, является емкость ценоза (общее количество зерен на единице площади). Важным выводом является разнонаправленность генотипической (обычно отрицательной) и экологической (часто положительной) корреляций между урожайностью и

содержанием белка, что позволяет использовать эти признаки как фоновые при селекционной оценке. Практическим итогом работы стала разработка конкретных рекомендаций для селекции и производства, включая использование выявленных источников пластичности по ключевым признакам и оптимизированную технологию возделывания узкоспециализированного, но высокопродуктивного сорта озимого ячменя Ваня на благоприятных агрофонах, что обеспечивает значительный экономический эффект [5].

Проблема взаимодействия генотипа и среды (ГСВ) давно перестала быть исключительно теоретической конструкцией. Проведённый анализ отечественных и зарубежных исследований убедительно демонстрирует, что учёт ГСВ является необходимым условием эффективности селекционного процесса и устойчивости зернового производства. Игнорирование этого взаимодействия приводит к необъективной оценке сортов, нестабильности урожаев и нерациональному использованию генетических ресурсов.

Сорт не является статичной единицей — это динамическая система, обладающая специфической нормой реакции. Ширина и характер этой нормы определяют, будет ли генотип востребован в конкретных почвенно-климатических условиях. Исследования последних лет (Ерошенко и др., 2022; Чухина и др., 2021) подтверждают, что в структуре фенотипической изменчивости урожайности доля факторов «среда» и «взаимодействие генотип × среда» многократно превышает долю собственно генотипа. Следовательно, селекция на адаптивность становится не альтернативой, а единственно возможной стратегией.

В российской селекционной практике сложился эффективный инструментарий оценки ГСВ. Классические регрессионные модели (Finlay–Wilkinson, Eberhart–Russell) успешно дополняются современными подходами: двухфакторным дисперсионным анализом, расчётом

параметров гомеостатичности, селекционными индексами и нейросетевым прогнозированием. Особого внимания заслуживает теория эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП), позволившая на практике создать сорт яровой пшеницы Гренада с заданными адаптивными свойствами [8]. Дальнейшее развитие методов должно идти в направлении интеграции ГСВ-анализа с геномным отбором и высокопроизводительным фенотипированием.

В условиях глобальных климатических изменений и усиления антропогенной нагрузки значение ГСВ будет только возрастать. Критически важной задачей становится сохранение и мобилизация локального генетического разнообразия. Именно местные сорта и стародавние формы несут уникальные аллели адаптивности, которые могут быть востребованы при создании новых сортов для экстремальных условий. Дальнейшее развитие учения о генотип-средовом взаимодействии лежит на стыке генетики, физиологии, агрометеорологии и цифровых технологий. Перспективными направлениями являются создание динамических моделей «генотип → среда → урожай» на основе ИИ, использование методов машинного обучения для прогноза отзывчивости генотипов по маркерным данным, и разработка автоматизированных систем подбора сортов для конкретного поля и сезона.

В целом, глубокое понимание и эффективное управление взаимодействием генотипа и среды — это не только фундаментальная научная проблема, но и реальный рычаг повышения рентабельности, экологичности и продовольственной безопасности отечественного растениеводства.

Литература

1. Жученко, А. А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы) / А. А. Жученко. – Москва: Агрорус, 2012. – 768 с.
2. Жученко, А. А. Взаимосвязь систем селекции, сортоиспытания и семеноводства / А. А. Жученко // Овощи России. – 2008. – № 1-2. – С. 6-10.

3. Жученко, А. А. Настоящее и будущее адаптивной системы селекции и семеноводства растений на основе идентификации и систематизации их генетических ресурсов / А. А. Жученко // Сельскохозяйственная биология. – 2012. – Т. 47, № 5. – С. 3-19.
4. Показатели пластичности некоторых сортов ячменя в Вологодской области / О. В. Чухина, А. И. Демидова, А. Л. Попова, А. С. Никулин // Молочнохозяйственный вестник. – 2021. – № 4(44). – С. 128-141.
5. Пономарев, Д. А. Управление урожайностью и качеством зерна сортов озимой пшеницы с использованием экологической пластичности и варибельности хозяйственно-ценных признаков: специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Пономарев Дмитрий Александрович. – Краснодар, 2021. – 24 с.
6. Рыбась, И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур / И. А. Рыбась // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 5. – С. 617-626.
7. Сапега, В. А. Оценка взаимодействия генотип-среда и гомеостатичность сортов ячменя / В. А. Сапега, Г. Ш. Турсумбекова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 6. – С. 82-93.
8. Создание сорта мягкой яровой пшеницы Гренада с помощью инновационных технологий селекции на основе теории эколого-генетической организации количественных признаков / В. В. Новохатин, В. А. Драгавцев, Т. А. Леонова, Т. В. Шеломенцева // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 5. – С. 905-919.
9. Тихонов, В. Е. Методологические основы формирования агроэкоотипа сорта зерновых культур на основе взаимодействия в системе генотип – среда в степном Приуралье / В. Е. Тихонов, А. А. Неверов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2015. – № 1. – С. 10. – URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-1/Articles/tihonov.pdf> (дата обращения: 04.03.2026).
10. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеостатичность сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны / Л. М. Ерошенко, М. М. Ромахин, Н. А. Ерошенко [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – Т. 183, № 1. – С. 38-47.
11. Eberhart, S. A. Stability parameters for comparing varieties / S. A. Eberhart, W. A. Russell // Crop Science. – 1966. – Vol. 6, No. 1. – P. 36-40.
12. Finlay, K. W. The analysis of adaptation in a plant-breeding program / K. W. Finlay, G. N. Wilkinson // Australian Journal of Agricultural Research. – 1963. – Vol. 14, No. 2. – P. 742-754.

References

1. Zhuchenko, A. A. Adaptivny`j potencial kul`turny`x rastenij (e`kologo-geneticheskie osnovy`) / A. A. Zhuchenko. – Moskva: Agrorus, 2012. – 768 s.
2. Zhuchenko, A. A. Vzaimosvyaz` sistem selekcii, sortoispy`taniya i semenovodstva / A. A. Zhuchenko // Ovoshhi Rossii. – 2008. – № 1-2. – S. 6-10.
3. Zhuchenko, A. A. Nastoyashhee i budushhee adaptivnoj sistemy` selekcii i semenovodstva rastenij na osnove identifikacii i sistematizacii ix geneticheskix resursov / A. A. Zhuchenko // Sel`skoxozyajstvennaya biologiya. – 2012. – Т. 47, № 5. – С. 3-19.
4. Pokazateli plastichnosti nekotory`x sortov yachmenya v Vologodskoj oblasti / O. V. Chuxina, A. I. Demidova, A. L. Popova, A. S. Nikulin // Molochnozozyajstvenny`j vestnik. – 2021. – № 4(44). – S. 128-141.

5. Ponomarev, D. A. Upravlenie urozhajnost`yu i kachestvom zerna sortov ozimoj pshenicy s ispol`zovaniem e`kologicheskoy plastichnosti i variabel`nosti xozyajstvenno-cenny`x priznakov: special`nost` 06.01.05 «Selekciya i semenovodstvo sel`skoxozyajstvenny`x rastenij»: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata sel`skoxozyajstvenny`x nauk / Ponomarev Dmitrij Aleksandrovich. – Krasnodar, 2021. – 24 s.

6. Ry`bas`, I. A. Povy`shenie adaptivnosti v selekcii zernovy`x kul`tur / I. A. Ry`bas` // Sel`skoxozyajstvennaya biologiya. – 2016. – T. 51, № 5. – S. 617-626.

7. Sapega, V. A. Ocenka vzaimodejstviya genotip-sreda i gomeostatichnost` sortov yachmenya / V. A. Sapega, G. Sh. Tursumbekova // Izvestiya Timiryazevskoj sel`skoxozyajstvennoj akademii. – 2013. – № 6. – S. 82-93.

8. Sozдание sorta myagkoj yarovoj pshenicy Grenada s pomoshh`yu innovacionny`x tehnologij selekcii na osnove teorii e`kologo-geneticheskoy organizacii kolichestvenny`x priznakov / V. V. Novoxatin, V. A. Dragavcev, T. A. Leonova, T. V. Shelomenceva // Sel`skoxozyajstvennaya biologiya. – 2019. – T. 54, № 5. – S. 905-919.

9. Tixonov, V. E. Metodologicheskie osnovy` formirovaniya agroekotipa sorta zernovy`x kul`tur na osnove vzaimodejstviya v sisteme genotip – sreda v stepnom Priural'e / V. E. Tixonov, A. A. Neverov // Byulleten` Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN. – 2015. – № 1. – S. 10. – URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-1/Articles/tihonov.pdf> (data obrashheniya: 04.03.2026).

10. Urozhajnost`, plastichnost`, stabil`nost` i gomeostatichnost` sortov yarovogo yachmenya v usloviyax Nechernozemnoj zony` / L. M. Eroshenko, M. M. Romaxin, N. A. Eroshenko [i dr.] // Trudy` po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. – 2022. – T. 183, № 1. – S. 38-47.

11. Eberhart, S. A. Stability parameters for comparing varieties / S. A. Eberhart, W. A. Russell // Crop Science. – 1966. – Vol. 6, No. 1. – P. 36-40.

12. Finlay, K. W. The analysis of adaptation in a plant-breeding program / K. W. Finlay, G. N. Wilkinson // Australian Journal of Agricultural Research. – 1963. – Vol. 14, No. 2. – P. 742-754.